

Are Head Impacts Safe during Youth Soccer Game Practice?

유소년 축구 경기에서 발생하는 머리 충격은 안전할까?

David O'Sullivan¹, Myung-Hoo Kwak², Yun-Sik Kim², Hee Seong Jeong^{3,4}

¹Department of Sport Science, Pusan National University, Busan, South Korea

²Department of Sport Science, Graduate School of Pusan University, Busan, South Korea

³Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul, South Korea

⁴International Olympic Committee Research Centre Korea, Yonsei University, Seoul, South Korea

Received : 06 May 2020

Revised : 22 June 2020

Accepted : 26 June 2020

Objective: This study to identify the mechanism of head impact that occurs during youth soccer game with regard to head injuries in sports.

Method: Ten male subjects (age: 10.0±2.0 yrs.) were participated during 10 soccer practices spread out over a time period of 10 weeks. During each soccer game, the participants agreed and wore the X-Patch (wireless accelerometer, gyroscopes). The X-Patch records the head impact mechanics, such as peak linear acceleration (PLA), peak rotational acceleration (PRA), peak rotational velocity (PRV), Head Injury Criterion (HIC), and the location of impact.

Results: A total of 501 impacts to the head were measured over the 10 soccer games, PLA 17.8±10.4 g, PRA 3168±2442 rad/s²; PRV 16.1±10.6 rad/s; HIC 11.7±34.2. The severity of impact was classified into 3 ranges; low 10~39 g (482 impacts); medium 40~69 g (17 impacts); and high >69 g (2 impacts). There are no significant differences in PLA and HIC ($p=0.08$, $p=0.15$), however PRA and PRV show the differences ($p<.05$) between each of the participants. For the analysis comparing between the soccer games, there are no significant differences in PLA, PRA, PRV and HIC ($p=0.11$, $p=0.13$, $p=0.14$, $p=0.05$).

Conclusion: Our results indicated that there were significant differences between athletes, especially in terms of rotational acceleration, whereas there were significant differences in linear and rotational based variable between each of the soccer games. Although the vast majority of impacts were below 39 g there were 2 potentially dangerous impacts above 69 g. It is important that future research continuous to measure head impact mechanics during soccer to help understand head injury mechanisms to ensure the safety of athletes.

Keywords: Head injury, Concussion, Soccer, Heading

Corresponding Author

Hee Seong Jeong

Department of Physical Education, Yonsei University, #103 Sports Science Complex, 50, Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul 03722, South Korea
Tel : +82-2-2123-8139
Fax : +82-2-2123-8375
Email : hsj@yonsei.ac.kr

INTRODUCTION

스포츠 현장에서 머리 손상은 운동 선수가 연습과 경기 중에 겪게 되는 많은 부상 중 빈도는 낮지만 직접적인 머리 충격에 의해 심각한 손상이 발생할 수 있고 선수 사망 위험률이 가장 높다(Mueller & Blyth, 1985). 스포츠 의학이 발달된 미국의 경우, 1년에 약 300,000건의 스포츠 머리 손상이 일어나는

것으로 알려져 있다(Lew & Chew, 2007; Torg, 1991). 국내에서 2013 프로 축구 60경기에서 총 201건 중 11.5%가 머리 부상으로 보고되었다(Kim, 2013). 선행 연구에 의하면 최근 20년 동안 스포츠 머리 손상으로 인한 선수 사망률은 현저하게 감소하였으며, 이는 선수 보호를 위한 규칙 변경, 보호 장비의 발달, 시험 전 준비운동, 그리고 스포츠 현장의 발전된 의료 시스템 등의 원인이기도 하다(Torg et al., 1979).

스포츠에서 머리 손상의 기전(mechanism)은 머리에 전달되는 힘의 종류에 따라 압박(compressive force), 장력(tensile force), 그리고 전단(shearing force)으로 나눌 수 있다(Cullen et al., 2016). 이 중에서 압박과 장력에 의한 충격은 비교적 경미하게 작용하지만, 전단의 의한 충격은 비교적 심하게 작용한다. 전자의 경우는 뇌가 뇌척수 액에 둘러싸여 보호되고 있기 때문에 비교적 충격이 잘 흡수되는 것에 비해 후자의 경우(특히, rotational force)는 그 보호 효과가 현격히 떨어지기 때문이다(Cullen et al., 2016). 인체의 머리는 목에 의해 체간부와 연결이 되어 있기 때문에 몸통과 머리에 충격을 받는 순간 뇌 인지와 목의 준비 상태에 따라 같은 힘이 작용되더라도 머리 손상의 정도에는 큰 차이가 있을 수 있다. 그러므로, 스포츠 경기 전 혹은 경기 중, 집중력과 목의 준비 상태가 머리 손상의 정도에 많은 영향을 미칠 수 있다고 보고되고 있다(Putukian et al., 2019).

선수 부상 예방을 위하여 국제 축구 연맹(FIFA)에서 1980년대 이후로 'Fair Play'에 대해 많은 관심을 가지고 선수 보호를 위한 연습 방법의 개발, 경기 기술의 발달, 경기 규칙의 변화, 그리고 엄격한 경기 운영 등을 통하여 선수들의 심각한 부상 방지를 위해 많은 노력을 기울이고 있다(Putukian et al., 2019). 스포츠 현장에서 선수의 머리 손상을 예방하거나, 손상이 발생했을 경우 항상 빠르게 대처하고 적절한 의학적 진단과 처치를 통해 선수의 복귀를 고려해야 할 것이다. 대부분의 머리 손상은 별다른 증상과 후유증 없이 선수 생활을 지속하는데 큰 지장이 없는 가벼운 뇌진탕이지만 일부에서는 심각한 후유증이 생기고 신체 장애와 사망에 이르기까지 한다(Guthkelch, 1980). 가벼운 뇌진탕의 경우 짧은 시간(수 시간-수 주) 내에 반복적으로 발생할 경우 선수 생활에 심각한 결과를 초래할 수 있기 때문에 스포츠 경기와 연습 중 선수들의 가벼운 머리 손상도 주의 깊게 관찰되어야 하고 의학적 진단을 확인해야 한다.

축구 현장에서 선수가 머리 손상으로 인해 의사소통이 안되는 정도의 무의식 상태(unconsciousness)가 발생했을 경우, 경추 부위 손상의 위험성을 예상하고 우선적으로 경추 부위를 반드시 고정해야 한다. 1998년 2월 말레이시아 쿠알라룸푸르에서 개최되었던 아시아 축구 지도자 및 의사 연수교육에서 모든 축구 경기장의 응급의료장비품목에 반드시 경추 보조기(cervical brace)를 비치할 것을 의무화하였다(Rowson & Duma, 2013). 반면, 선수가 머리 손상 후 의사소통이 가능할 경우(drowsy 이상의 의식 상태) 의식 명료함의 정도(level of consciousness)를 정확히 파악하는 것이 현재의 머리 손상의 정도와 향후 예후를 판정하는 중요한 지표가 된다(Mittenberg, DiGiulio, Perrin & Bass, 1992). 아울러 신경학적 증세로서 두통, 균형감각 이상, 신체 협조 기능(coordination) 이상, 그리고 감각 및 운동 이상 등의 상태를 살펴보아야 하며 정확한 신경학

적 검사가 필요하다(Putukian et al., 2019). 따라서 축구 경기 중 어느 정도 머리의 외상 충격이 신경학적 기준에 영향을 주는 지 과학적인 근거가 필요하지만 이에 대한 운동역학적 분석이 미흡한 실정이고, 성장 중인 청소년 선수들에 대한 연구는 더욱 미흡하다.

따라서 본 연구의 목적은 청소년 축구 경기 중에 선수들의 머리 충격량과 심각도에 대해 운동학(kinematics)적인 요소를 분석하여 머리 충격에 대한 기전을 이해하는 것이다. 향후 본 연구를 통해 축구 선수들의 머리 충격의 운동학적 요소와 신경학적 요소에 대한 상관성을 이해하는데 중요한 자료가 될 것이고, 운동역학의 과학적 기준에 근거한 머리 부상 예방 및 평가 지침을 개발하는데 도움이 될 것이다(F-MARC, 2015; Jang et al., 2019; Roberts et al., 2019; Rowson & Duma, 2013).

METHOD

1. 실험 참여자

연구대상자들은 부산광역시 해운대구에 소재한 K유소년 스포츠클럽 소속의 남자 회원 10명(age: 10.0±2.0 yrs)을 대상으로 하였다. 본 실험에 앞서 연구의 목적과 절차를 설명하고 서면 참가 동의서와 신체활동준비 질문지를 받았다. 실험은 피험자들이 평소에 실시하는 축구 경기 및 훈련 시 X-Patch 센서를 부착하고 진행하였다. 주 1회 10주 동안 연구대상자의 축구 경기 중 데이터를 수집하였다. 본 연구자는 연구기간 10주 동안 피험자들의 운동 중재와 규칙적인 일상생활을 유지하도록 관찰하였다. 본 연구는 부산대학교 연구 윤리 위원회(Institutional Review Board, IRB)에서 승인 후 실험을 실시하였다(PNU IRB 2015-27-HR).

2. 연구 측정

X-Patch 센서(X2 Biosystems Inc., California, USA)는 인터넷 클라우드 데이터베이스(internet cloud database) 서버를 통해 컴퓨터, 모바일 기기(예, 아이폰 또는 아이패드 등), 그리고 데이터 저장 시스템 장치에 데이터 동기화가 가능한 무선 인터페이스로 머리 충격을 모니터링 할 수 있는 시스템이다(Figure 1). 각 피험자들의 귀 뒤쪽 유양돌기(mastoid process) 피부 부위에 알코올 솜을 사용하여 여분의 오일과 땀을 닦아내어 마른 후 X-Patch를 Figure 1과 같이 부착하였다. 현재 세계적으로 많은 연구에서 X-Patch가 사용되었으며, 라이브로 진행되는 미국 풋볼리그에서 생체 데이터 수집을 위해 자주 사용되고 있다. Rowson et al. (2012) 연구에 의하면, 450명의 선수들이 X-Patch를 사용한 486,000번 머리 충격 실험에서 부작용은 없었다.

따라서 본 실험에서 10명의 연구대상자에게 각각 1인 1개의 X-Patch를 부착하고 주 1회 10주 동안 10회 축구 경기 시 머리 충격 요소로 선형가속도(peak linear acceleration; PLA), 회전가속도(peak rotational acceleration; PRA), 회전속도(peak rotational velocity; PRV), 충돌 위치와 방향을 실시간으로 수집하였고, 머리상해기준값(head injury criterion; HIC)을 산출하였다. 또한 X-Patch의 충돌 위치와 방향은 3축(x, y, z; anteroposterior, mediolateral, superior-inferior)의 가속도에 의한 선형 벡터에 의해 산출되었다. 실험이 진행된 1회 축구 경기는 전·후반 20분씩 총 40분이며, 휴식 시간은 10분이었다. 경기 전 주의 사항을 설명하였고, 땀과 가벼운 몸싸움으로 센서가 떨어지지 않도록 부착하였다.

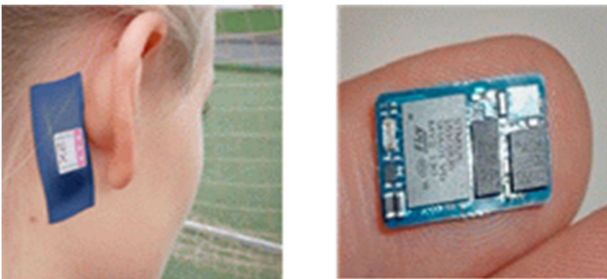


Figure 1. X-Patch sensor

3. 자료 수집 및 통계 분석

축구 경기 중 실시간 머리 충격으로 인해 수집된 자료는 X2 Biosystems Injury Management Software (X2 Biosystems Inc., California, USA)와 인터넷 클라우드 데이터베이스 시스템에 저장되었고, PC의 Microsoft Excel를 통해 데이터 코딩되었다. 본 연구의 통계처리는 SPSS ver. 22.0 (IBM, USA)을 이용하였고, 기술통계 분석을 통해 평균(mean), 표준편차(standard deviation), 95% 신뢰구간(95% confidence intervals, 95% CIs)을 산출하였으며, Chi-square 분석을 통해 각 선수와 축구 경기별 머리 충격 요인의 연관성 분석을 했다. 통계적 유의수준은 $p < .05$ 로 설정하였고, 머리 상해 기준값(head injury criterion; HIC)은 아래 공식과 같이 산출하였다.

$$IC = \max_{t_2-t_1} \left[\frac{1}{t_2-t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} t_2 - t_1$$

Whereas $t_2-t_1 = 15$ ms

$a(t)$ = resultant linear acceleration

RESULTS

1. 머리 충격량과 심각도

본 연구에서 10회 축구 경기 중 10명 선수 피험자 머리의 총 충격량은 501회였다. 총 수행 시간은 523분이며 평균적으로 100분당 90회의 머리 충격이 나타났다. 머리 충격 범위 10~39 g의 경도 충격은 482회(96.2%)로 나타났으며, 40~69 g의 중등도 충격은 17회(3.3%), 그리고 69 g 이상의 강한 충격은 2회(0.4%)로 나타났다(Figure 2).

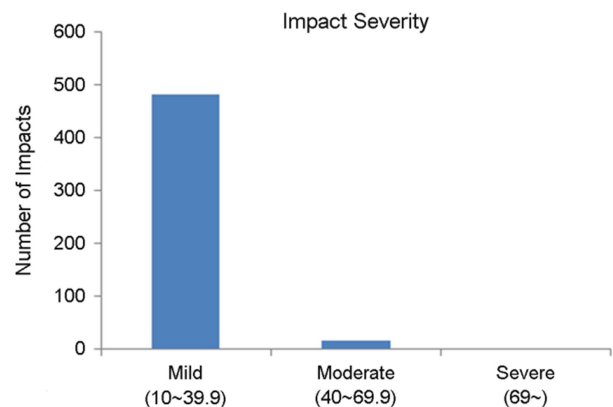


Figure 2. Head impacts classified as mild (10~39 g), moderate (40~69 g) and severe (<69 g) in terms of linear acceleration

유소년 축구 경기에서 나타나는 선수 개인별과 경기별 머리 충격 분석 요소(PLA, PRA, PRV, HIC15)는 Table 1, 2과 같다.

유소년 선수 개인별 충격 요소 분석결과 PLA ($\chi^2=15.36, p=0.08$)와 HIC15 ($\chi^2=13.21, p=0.15$)에서 유의한 차이가 없었지만, PRA ($\chi^2=42.79$)와 PRV ($\chi^2=31.18$)에서 통계적 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 또한 축구 경기별 충격 요소 분석결과 PLA ($\chi^2=14.10, p=0.11$), PRA ($\chi^2=13.63, p=0.13$), PRV ($\chi^2=13.52, p=0.14$)와 HIC15 ($\chi^2=16.92, p=0.05$) 모두 유의한 차이를 보이지 않았다.

2. 머리 충격 위치

축구 경기 1회 시 1명의 피험자에게 나타나는 충격 위치는 Figure 3와 같이 나타났다. 인체 머리의 해부학적 위치로 전면, 후면, 윗면, 측면으로 분류했고, 파란색은 10~39 g, 주황색은 40~69 g, 빨간색은 69 g 이상의 충격량으로 표시된다. 충격 위치는 머리 후면 228회(45.5%), 전면 100회(19.9%), 양측면 169회(33.7%), 그리고 윗면 4회(0.7%)로 나타났다(Figure 4).

Table 1. Descriptive statistics per athlete for the linear acceleration, rotational acceleration, rotational velocity, and head injury criterion

Variable/ Athlete	Number	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence interval		Maximum	
					Lower	Upper		
PLA	A1	46	18.53	9.22	1.36	15.79	21.27	50
	A2	72	15.88	7.49	0.88	14.12	17.64	66
	A3	42	17.90	11.67	1.80	14.27	21.54	62
	A4	59	17.40	11.36	1.48	14.44	20.36	70
	A5	53	19.70	10.81	1.49	16.72	22.68	68
	A6	38	17.12	7.12	1.16	14.78	19.46	41
	A7	38	16.92	8.22	1.33	14.22	19.63	54
	A8	60	21.88	15.50	2.00	17.87	25.88	118
	A9	79	16.40	7.94	0.89	14.62	18.18	57
	A10	14	18.91	11.11	2.97	12.50	25.33	49
	Total	501	17.93	10.37	0.463	17.02	18.84	118
PRA	A1	46	3274.66	2484.60	366.33	2536.82	4012.49	10,883
	A2	72	2682.36	1827.57	215.38	2252.91	3111.82	15,133
	A3	42	3085.69	2237.15	345.20	2388.54	3782.84	11,942
	A4	59	2728.59	2280.14	296.85	2134.38	3322.80	12,433
	A5	53	4310.17	2719.05	373.49	3560.71	5059.63	14,130
	A6	38	2788.22	1592.79	258.39	2264.68	3311.75	6,527
	A7	38	3065.74	1986.36	322.23	2412.84	3718.64	11,451
	A8	60	4112.33	3373.24	435.48	3240.93	4983.73	19,437
	A9	79	2572.92	2266.77	255.03	2065.19	3080.65	16,708
	A10	14	3724.45	2414.11	645.20	2330.58	5118.31	9,614
	Total	501	3168.43	2442.90	109.14	2954.00	3382.86	19,437
PRV	A1	46	17.20	12.40	1.83	13.52	20.88	50
	A2	72	13.58	7.70	0.91	11.78	15.39	55
	A3	42	18.64	12.89	1.99	14.62	22.65	57
	A4	59	14.13	10.70	1.39	11.34	16.91	56
	A5	53	20.23	11.28	1.55	17.12	23.34	57
	A6	38	14.28	7.48	1.21	11.82	16.74	38
	A7	38	15.68	9.93	1.61	12.42	18.95	51
	A8	60	18.59	11.05	1.43	15.74	21.45	54
	A9	79	14.05	9.57	1.08	11.90	16.19	53
	A10	14	17.25	11.41	3.05	10.66	23.84	44
	Total	501	16.09	10.56	0.47	15.17	17.02	57
HIC15	A1	46	10.98	17.75	2.62	5.71	16.25	79

Table 1. Descriptive statistics per athlete for the linear acceleration, rotational acceleration, rotational velocity, and head injury criterion (Continued)

Variable/ Athlete	Number	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence interval		Maximum
					Lower	Upper	
A2	72	8.91	27.43	3.23	2.46	15.36	236
A3	42	11.66	23.03	3.55	4.48	18.84	123
A4	59	11.91	31.33	4.08	3.75	20.08	185
A5	53	15.90	39.51	5.43	5.01	26.79	282
A6	38	6.44	5.97	0.97	4.47	8.40	32
A7	38	10.58	23.26	3.77	2.93	18.22	146
A8	60	20.34	72.57	9.37	1.59	39.09	565
A9	79	7.74	11.62	1.31	5.14	10.34	91
A10	14	13.47	24.34	6.51	-0.59	27.52	95
Total	501	11.67	34.24	1.53	8.67	14.68	565

Note. A: athlete, PLA: peak linear acceleration, PRA: peak rotation acceleration, PRV: peak rotation velocity, HIC15: head injury criterion for 15 ms

Table 2. Descriptive statistics per game for the linear acceleration, rotational acceleration, rotational velocity, and head injury criterion

Variable/ Game	Number	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence interval		Maximum
					Lower	Upper	
G1	32	19.20	10.30	1.82	15.49	22.91	57
G2	65	17.06	9.28	1.15	14.77	19.36	68
G3	78	19.67	13.88	1.57	16.54	22.80	118
G4	56	21.77	15.09	2.02	17.73	25.81	70
G5	49	15.84	7.74	1.11	13.62	18.06	53
G6	36	16.90	6.77	1.13	14.61	19.19	44
G7	69	16.09	7.01	0.84	14.40	17.77	46
G8	35	16.55	10.02	1.69	13.11	19.99	54
G9	33	18.32	7.67	1.34	15.60	21.04	41
G10	48	17.30	7.61	1.10	15.09	19.51	41
Total	501	17.93	10.37	0.46	17.02	18.84	118
G1	32	3316.60	2950.18	521.52	2252.95	4380.25	16,708
G2	65	2905.12	2311.07	286.65	2332.46	3477.77	14,130
G3	78	3597.22	2883.55	326.50	2947.08	4247.37	19,437
G4	56	3496.74	3202.50	427.95	2639.11	4354.38	15,133
G5	49	2936.03	1650.46	235.78	2461.96	3410.10	7,388
G6	36	3118.41	2175.30	362.55	2382.39	3854.42	11,951

Table 2. Descriptive statistics per game for the linear acceleration, rotational acceleration, rotational velocity, and head injury criterion (Continued)

Variable/ Game	Number	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence interval		Maximum	
					Lower	Upper		
PRA	G7	69	3049.57	2111.60	254.21	2542.31	3556.83	13,516
	G8	35	2596.39	2239.42	378.53	1827.13	3365.66	11,451
	G9	33	3753.13	2085.21	362.99	3013.74	4492.51	10,496
	G10	48	2807.13	2064.95	298.05	2207.53	3406.73	12,329
	Total	501	3168.43	2442.90	109.14	2954.00	3382.86	19,437
PRV	G1	32	15.25	9.94	1.76	11.67	18.84	53
	G2	65	14.66	10.15	1.26	12.15	17.18	52
	G3	78	17.95	11.26	1.28	15.41	20.48	54
	G4	56	19.21	14.95	2.00	15.20	23.21	57
	G5	49	15.54	8.88	1.27	12.99	18.09	41
	G6	36	15.69	8.97	1.49	12.66	18.73	40
	G7	69	15.64	9.91	1.19	13.26	18.02	57
	G8	35	13.42	10.19	1.72	9.92	16.92	51
	G9	33	17.82	9.62	1.67	14.41	21.23	48
	G10	48	14.22	7.62	1.10	12.01	16.44	38
Total	501	16.09	10.56	0.47	15.17	17.02	57	
HIC15	G1	32	11.35	17.19	3.04	5.15	17.54	91
	G2	65	11.78	35.50	4.40	2.99	20.58	282
	G3	78	15.68	63.48	7.19	1.37	29.99	565
	G4	56	20.10	45.15	6.03	8.01	32.19	236
	G5	49	8.68	17.70	2.53	3.60	13.76	123
	G6	36	8.06	13.02	2.17	3.65	12.46	80
	G7	69	7.04	11.24	1.35	4.34	9.74	73
	G8	35	11.98	28.39	4.80	2.23	21.73	146
	G9	33	11.50	14.47	2.52	6.37	16.63	65
	G10	48	7.73	6.46	0.93	5.86	9.61	26
Total	501	11.67	34.24	1.53	8.67	14.68	565	

Note. G: Game, PLA: peak linear acceleration, PRA: peak rotation acceleration, PRV: peak rotation velocity, HIC15: head injury criterion for 15 ms

DISCUSSION

본 연구는 청소년 축구 경기 중에 선수들의 머리 외상 충격량과 심각도에 대해 운동학(kinematics)적인 요소를 분석하여 머리 외상 충격에 대한 기전을 이해하는 것이다. 선행 연구에

의하면, 미국 워싱턴의 한 대학에서 고등학교 축구 선수를 대상으로 X-Patch를 사용한 연구는 경기 중 머리에 가해지는 충격 원인(공과 머리, 지면과 머리, 머리와 사람 등)에 중점을 두었다(Jang et al., 2019). 반면, 본 연구는 실제 축구 경기 중 머리 충격량, 강도와 위치 분포도에 중점을 두고 있다. 경기 당

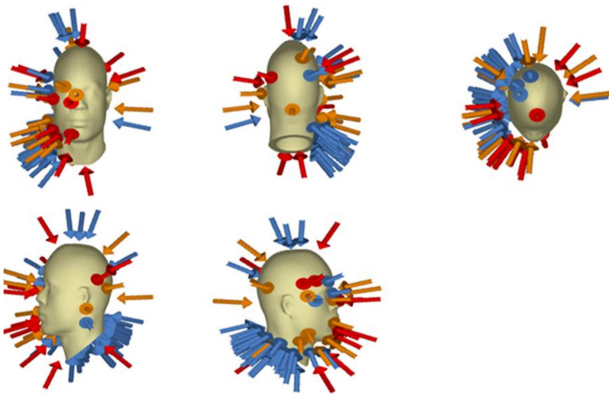


Figure 3. Head impact locations shown for the anterior, posterior, superior, and lateral views (x2 Biosystems Inc.).

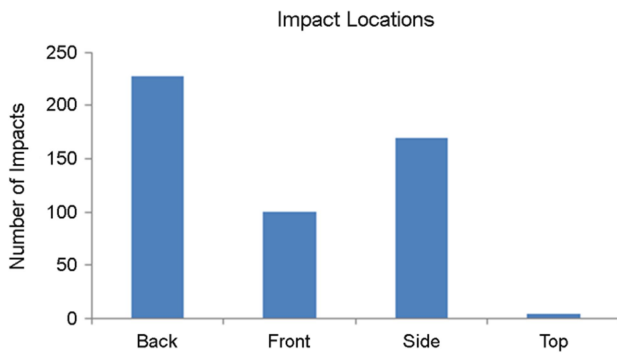


Figure 4. Head impacts classified into the 4 locations, back, front, side and top

한 선수의 머리충격 횟수가 같다는 전제하에 경기 중 받는 머리 충격의 강도는 선수 뇌진탕을 방지하고 머리 충격의 메커니즘을 이해하는 부분에서 가장 중요한 요소라고 생각하여, 선행연구와 차이를 두었다. 또한, 비슷한 주제의 선행 연구들은 성인을 대상으로 하였으며(McCeun et al., 2015; Rowson et al., 2012), 본 연구는 성장기에 있는 청소년 선수들의 머리 충격에 대한 운동학적 분석을 위해 8~12세 남학생을 연구대상으로 선정하였다. 최근 미국 축구 연맹(USSF)에서 헤딩이 청소년 선수들의 뇌 발달에 부정적인 영향을 끼칠 것을 우려해 헤딩금지 및 헤딩 수 제한과 같은 규제를 만들었다(Tarnutzer, 2018). 한국인들의 인기 스포츠인 축구는 머리 손상을 비교적 많이 일으킬 수 있는 스포츠 종목이기 때문에 더욱 주의를 요한다(Roberts et al., 2019).

본 연구의 머리 충격량 결과에서 선수 머리 충격범위 10~39 g의 482회(96.2%)로 청소년 축구 경기 중 받는 대부분의 충격은 경미한 충격이라고 볼 수 있지만, 2회 정도 69 g 이상의 잠재적인 머리 손상 위험이 있는 상황도 발생하였다. 이러한

결과는 미국 워싱턴의 고등학생을 대상으로 한 연구 또한 90% 이상이 경미한 충격 범위(10~39 g)에 나타난 결과와 유사했다(Nevins, Hildenbrand, Kensrud, Vasavada & Smith, 2016). 한 경기 중 청소년 선수 한 명이 X-Patch를 통해 얻어지는 평균 머리 충격 횟수가 5.01로, 연령대가 높은 고등학교 선수들의 평균 2.23 보다 높았다(McCuen et al., 2015). 따라서 청소년 선수들에게 경미한 머리 충격이라도 지속적인 충격 노출이 높아질수록 머리 외상(head trauma)이 발생할 수 있음을 고려해야 한다.

청소년 선수 개인별 분석결과에서 PRA ($\chi^2=42.785$)와 PRV ($\chi^2=31.178$)에서는 통계적 유의한 차이를 보였고($p<.05$), 경기별 분석결과에서 PLA, PRA, PRV와 HIC15 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 따라서 축구 경기 10회 동안 머리 충격 요소들이 정규적인 충격 횟수와 가속도 값이 얻어졌다고 해석할 수 있고, 선수 개인별 PRA와 PRV에 대한 논리적인 해석이 필요하다고 할 수 있다. 알려진 바에 의하면, 뇌진탕과 같은 머리 손상은 여러 요소의 힘(선형가속도, 회전가속도, 그리고 충격의 위치 등)의 조합으로 발생한다(Viano et al., 2005). 그러나 선행 연구에 따르면, 선형가속도(PLA)의 수치로 여러 조합으로 발생하는 뇌진탕의 확률 값과 크게 다르지 않다고 하였다(Torg et al., 1979). 따라서 어느 정도의 머리 충격 값이 축적되는가를 비교 분석하기 위해 다른 종류의 스포츠 경기 중 얻어지는 머리 충격 값은 다음과 같다. Mihalik et al. (2012)는 주니어 아이스 하키 선수가 예상치 못한 상황에서 뒤로부터 충격을 당했을 때 31.8 g의 RLA 값을 보였고, Zhang, Yang & Albert (2004)은 미식 축구를 대상으로 한 연구를 통해 85 g의 RLA 값이 뇌진탕의 역치(threshold value)가 될 수 있다고 제안하였다. 또한 머리 외상 충격 손상에 대한 RLA의 평균값은 올림픽 복싱 선수의 흑 펀치 RLA 값 39.0~103.4 g과 미국 미식 축구의 평균 충격 RLA 값 18.02~86.57 g 범위 포함된다고 보고되었다(Viano et al., 2005). 추가적으로 Zhang et al. (2004) 연구에 덧붙여 RLA 값 86.57 g을 초과하는 충격을 받았을 때 뇌진탕이 발생했다고 보고했다(Guskiewicz et al., 2007). 그러므로, 축구 선수 평균 15-25년 경력에서 청소년기부터 성인기까지 점증적인 머리 충격이 지속적으로 노출되었을 때 선수 머리 손상의 회복 시간 지연, 경기력 사고 저하, 기억력 감퇴, 등으로 축구 경기 중 머리의 위험한 노출이 높을 것으로 예상해 볼 수 있다(Putukian et al., 2019).

경기 중 대상자들의 머리 충격 위치는 총 501회 머리 충격 중 머리 후면 228회(45.5%)로 양측면, 전면, 뒷면에 비해 유의하게 높았다. 선행 연구에서 축구 경기 중 머리 충격이 가장 많이 일어나는 경우는 머리와 공이 부딪힐 때로 보고되었다(Nevins et al., 2016). 이를 근거로 해석해 보면 프로 및 엘리트 선수들의 축구 경기일수록 머리와 공이 부딪히는 위치는 전면이나 양측면일 가능성이 높지만 후면부에 접촉될 가능성은 희

박하다. 이러한 점을 고려한다면 청소년 선수들의 미숙한 헤딩 기술로 인해 선수들이 경기 중 우왕좌왕하며 몸과 머리가 부딪히거나, 상대 선수의 머리를 팔로 부딪히거나, 또는 머리끼리 부딪힐 가능성이 높을 것으로 고려해 볼 수 있다. 현 시점에서 여러 선행 연구에서 청소년 선수들의 머리 손상 유형과 뇌진탕 손상에 대한 여러 역학조사 연구들이 보고되었지만, 청소년 선수들의 머리 손상의 위치까지 보고되고 있는 연구들은 부족하다(Giannotti, Al-Sahab, McFaul & Tamim, 2010; Brito et al., 2012). 따라서 향후 청소년 축구 선수의 머리 충격 위치가 후면부에 제일 높게 나온 것에 대한 논리적인 추리는 더 많은 뒷받침이 필요하다.

최근 연구에 따르면, 축구 경기 중 공에 의해 머리에 가해지는 충격 횟수가 많으며, 헤딩으로부터 받는 충격력이 다른 요인보다 뇌진탕과 같은 머리 손상의 위험이 크다고 하였다(Nevins, Hildenbrand, Vasavada, Kensrud & Smith, 2019). 그렇다면 선수의 포지션에 따라 뇌진탕에 노출되는 정도가 많이 다를 것이고, 축구에서 헤딩을 가장 많이 하는 포지션은 공격수 일 것이며 다음으로는 미드필더, 수비수인 반면에 골키퍼는 거의 없을 것이다. 비록 X-Patch로 뇌진탕에 관한 연구가 많이 이루어진 다른 스포츠로 태권도, 복싱, 미식 축구, 그리고 아이스하키 등에 비해 평균 충격력이 낮지만, 축구 경기 중 절반(228회; 45.5%)에 가까운 머리 충격이 공과 부딪히는 헤딩에서 발생한다면 향후 연구에서 엘리트 축구 선수 포지션별 머리 충격력을 분석한다면 흥미로운 것이다(McCeun et al., 2015; Nguyen, Brennan, Mitra & Willmott, 2019; O'Sullivan & Fife, 2017; O'Connor, Rowson, Duma & Broglio, 2017). 청소년 선수들의 머리 손상 예방에 특히 힘써야 할 것이며 미국 축구 연맹의 헤딩수 제한과 같은 새로운 규제를 고려해 볼 수 있다. 또한 청소년 축구 지도자들이 머리 손상 예방을 위한 헤딩 기술을 적극적으로 교육해야 한다.

현재까지 뇌진탕의 정의 및 정도(grading)에 대해서는 확립된 바가 없다(Khalifa & Gallego, 2019; Torg, 1991; Torg et al., 1979). Nevins et al. (2016) 연구에서 X-Patch를 부착 후 경기 하는 동안 센서가 얻는 충격과 영상을 촬영하여 직접적인 충격만을 추려내었다. 그러나, 뇌진탕에 영향을 주는 명확한 충격력 크기에 대한 기준이 없는 점에서 영상 분석과 센서를 사용하여 비교 매칭하는 것은 불완전하다. 향후, 직접적인 머리 충격 뿐 아니라 간접적인 머리 충격을 포함한 뇌진탕의 정의 및 정도(grade)에 대한 확립을 위해 융·복합적인 머리 충격력과 신경학적 분석 연구를 기대해 볼 수 있다.

CONCLUSION

스포츠 선수들에게 있어 가장 중요한 시기라고도 볼 수 있는 8~12세의 청소년을 대상으로 머리 충격력 메커니즘에 대

해 연구한 결과, 평균적으로 1명 당 1번의 경기 중 5.01회의 머리 충격이 가해진 것으로 나타났다. 하지만, 포지션별 선수들 간에 평균적으로 가해지는 머리 충격은 매우 다를 것이라고 예상되며 대부분의 충격 범위 10~39 g의 482회(96.2%)로 경미한 충격을 받지만, 2회 정도 69 g 이상의 잠재적인 머리 손상 위험이 발생할 수 있는 충격이 나타났다. 피험자의 연령대가 높은 선행 연구의 머리 충격 위치와는 달랐으며 아직 근거가 미비하다. 또한, 충격량 또는 충격력에 대한 명확한 뇌진탕 정도의 척도가 아직 밝혀 지지 않았기 때문에 스포츠 경기 중 머리 충격에 대한 자료 수집과 분석이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was supported by a 2 year Pusan National University grant.

REFERENCES

- Bruto, J., Malina, R. M., Seabra, A., Massada, J. L., Soares, J. M., Krustup, P. & Rebelo, A. (2012). Injuries in Portuguese youth soccer players during training and match play. *Journal of Athletic Training, 47*(2), 191-197.
- Cullen, D. K., Harris, J. P., Browne, K. D., Wolf, J. A., Duda, J. E., Meaney, D. F. & Smith, D. H. (2016). A porcine model of traumatic brain injury via head rotational acceleration. In *Injury Models of the Central Nervous System* (pp. 289-324). Humana Press, New York, NY.
- F-MARC. (2015). F-MARC-football for health 20 years of F-MARC Research and Education 1994-2014. *FIFA*. 258. Retrieved from https://www.fifamedicalnetwork.com/wp-content/uploads/cdn/20_years_of_fmrc.pdf
- Giannotti, M., Al-Sahab, B., McFaul, S. & Tamim, H. (2010). Epidemiology of acute head injuries in Canadian children and youth soccer players. *Injury, 41*(9), 907-912.
- Guskiewicz, K. M., Mihalik, J. P., Shankar, V., Marshall, S. W., Crowell, D. H., Oliaro, S. M. ... & Hooker, D. N. (2007). Measurement of head impacts in collegiate football players: relationship between head impact biomechanics and acute clinical outcome after concussion. *Neurosurgery, 61*(6), 1244-1253.
- Guthkelch, A. N. (1980). Posttraumatic amnesia, post-concussional symptoms, and accident neurosis. *European Neurology, 19*(2), 91-102.
- Jang, I., Chun, I. Y., Brosch, J. R., Bari, S., Zou, Y., Cumiskey, B. R. & Svaldi, D. O. (2019). Every hit matters: white matter

- diffusivity changes in high school football athletes are correlated with repetitive head acceleration event exposure. *Neuroimage: Clinical*, 24, 101930.
- Khalifa, M. & Gallego, B. (2019). Grading and assessment of clinical predictive tools for paediatric head injury: a new evidence-based approach. *BMC Emergency Medicine*, 19(1), 35.
- Kim, S. H. (2013). A study on video analysis of sports injuries and management in Korean professional football. *The Korean Journal of Sports Medicine*, 31(1), 20-25.
- Lew, H. L. & Chew, K. T. (2007). Review of sports-related concussion: Potential for application in military settings. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 44(7), 963-974.
- McCuen, E., Svaldi, D., Breedlove, K., Kraz, N., Cummiskey, B., Breedlove, E. L. & Guerra, A. (2015). Collegiate women's soccer players suffer greater cumulative head impacts than their high school counterparts. *Journal of Biomechanics*, 48(13), 3720-3723.
- Mihalik, J. P., Guskiewicz, K. M., Marshall, S. W., Blackburn, J. T., Cantu, R. C. & Greenwald, R. M. (2012). Head impact biomechanics in youth hockey: comparisons across playing position, event types, and impact locations. *Annals of Biomedical Engineering*, 40(1), 141-149.
- Mittenberg, W., DiGiulio, D. V., Perrin, S. & Bass, A. E. (1992). Symptoms following mild head injury: expectation as aetiology. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 55(3), 200-204.
- Mueller, F. O. & Blyth, C. S. (1985). Annual survey of catastrophic football injuries: 1977 to 1983. *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 5(5), 628.
- Nevins, D., Hildenbrand, K., Kensrud, J., Vasavada, A. & Smith, L. (2016). Field evaluation of a small form-factor head impact sensor for use in soccer. *Procedia Engineering*, 147, 186-190.
- Nevins, D., Hildenbrand, K., Vasavada, A., Kensrud, J. & Smith, L. (2019). In-game head impact exposure of male and female high school soccer players. *Athletic Training and Sports Health Care*, 11(4), 174-182.
- Nguyen, J. V., Brennan, J. H., Mitra, B. & Willmott, C. (2019). Frequency and Magnitude of Game-Related Head Impacts in Male Contact Sports Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 1-9.
- O'Connor, K. L., Rowson, S., Duma, S. M. & Broglio, S. P. (2017). Head-impact-measurement devices: a systematic review. *Journal of Athletic Training*, 52(3), 206-227.
- O'Sullivan, D. M. & Fife, G. P. (2017). Biomechanical head impact characteristics during sparring practice sessions in high school taekwondo athletes. *Journal of Neurosurgery: Pediatrics*, 19(6), 662-667.
- Putukian, M., Echemendia, R. J., Chiampas, G., Dvorak, J., Mandelbaum, B., Lemak, L. J. & Kirkendall, D. (2019). Head Injury in Soccer: From Science to the Field; summary of the head injury summit held in April 2017 in New York City, New York. *British Journal of Sports Medicine*, 53(21), 1332-1345.
- Roberts, A. L., Pascual-Leone, A., Speizer, F. E., Zafonte, R. D., Baggish, A. L., Taylor Jr, H. & Marengi, D. A. (2019). Exposure to American football and neuropsychiatric health in former National Football League players: findings from the Football Players Health Study. *The American Journal of Sports Medicine*, 47(12)2871-2880.
- Rowson, S. & Duma, S. M. (2013). Brain injury prediction: assessing the combined probability of concussion using linear and rotational head acceleration. *Annals of Biomedical Engineering*, 41(5), 873-882.
- Rowson, S., Duma, S. M., Beckwith, J. G., Chu, J. J., Greenwald, R. M., Crisco, J. J. & Maerlender, A. C. (2012). Rotational head kinematics in football impacts: an injury risk function for concussion. *Annals of Biomedical Engineering*, 40(1), 1-13.
- Tarnutzer, A. A. (2018). Should heading be forbidden in children's football?. *Science and Medicine in Football*, 2(1), 75-79.
- Torg, J. S. (1991). *Athletic Injuries to the Head, Neck, and Face*. St Louis, MO: Mosby-Year Book.
- Torg, J. S., Truex, R., Quedenfeld, T. C., Burstein, A., Spealman, A. & Nichols, C. (1979). The national football head and neck injury registry: report and conclusions 1978. *The Journal of the American Medical Association*, 241(14), 1477-1479.
- Viano, D. C., Casson, I. R., Pellman, E. J., Bir, C. A., Zhang, L., Sherman, D. C. & Boitano, M. A. (2005). Concussion in professional football: comparison with boxing head impacts-part 10. *Neurosurgery*, 57(6), 1154-1172.
- Zhang, L., Yang, K. H. & Albert, I. K. (2004). A proposed injury threshold for mild traumatic brain injury. *Journal of Biomechanical Engineering*, 126(2), 226-236.